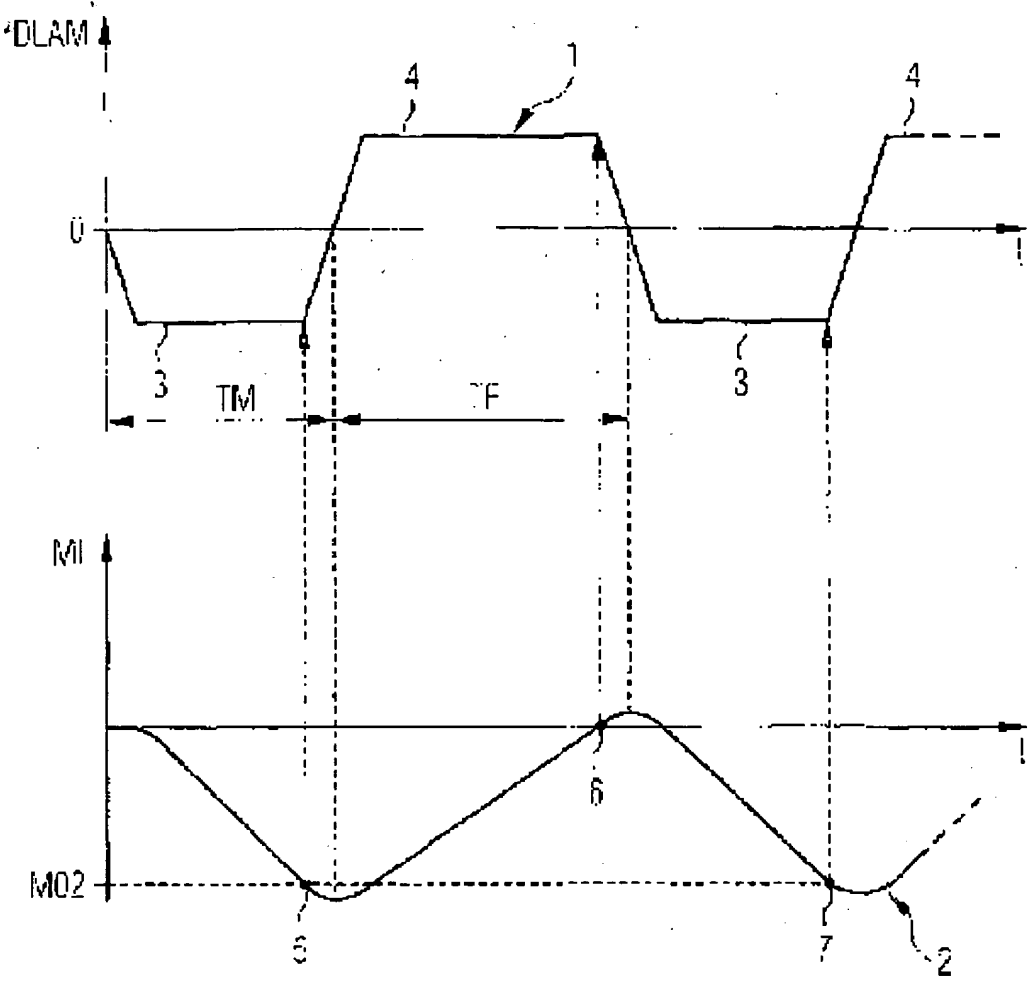


AN: PAT 2004-012164  
TI: Operating IC engine having three-way catalyst comprises adjusting lambda value of air-fuel mixture supplied to engine above and below set value in cyclically alternating manner during forced activation  
PN: WO2003095817-A1  
PD: 20.11.2003  
AB: NOVELTY - Operating an IC engine having a three-way catalyst comprises adjusting the lambda value of the air-fuel mixture supplied to the engine above and below a set value in a cyclically alternating during a forced activation. In the forced activation, the rich phases and the lean phases are matched with one other according to determined criteria. When determining the criteria, an air mass is used that is supplied to the engine during the rich and lean phases.; USE - Used for operating an IC engine having a three-way catalyst. ADVANTAGE - Deviations from the stoichiometric theoretical value in the lead and rich phases can be changed.  
PA: (SIEI ) SIEMENS AG;  
IN: POEHMERER W; ROESEL G; POHMERER W; ROSEL G;  
FA: WO2003095817-A1 20.11.2003; **DE10220337**-B4 20.04.2006;  
**DE10220337**-A1 27.11.2003; EP1502017-A1 02.02.2005;  
US2005166578-A1 04.08.2005;  
CO: AT; BE; BG; CH; CY; CZ; DE; DK; EE; EP; ES; FI; FR; GB; GR; HU; IE; IT; LI; LU; MC; NL; PT; RO; SE; SI; SK; TR; US; WO;  
DN: US;  
DR: AT; BE; BG; CH; CY; CZ; DE; DK; EE; ES; FI; FR; GB; GR; HU; IE; IT; LU; MC; NL; PT; RO; SE; SI; SK; TR; LI;  
IC: F01N-003/00; F01N-003/20; F01N-009/00; F02D-041/02; F02D-041/18;  
MC: H06-C03; J01-E02D; J04-E01; N07-L01C1; X22-A03A2A; X22-A03J; X22-A05B;  
DC: H06; J01; J04; Q51; Q52; X22;  
FN: 2004012164.gif  
PR: DE1020337 07.05.2002;  
FP: 20.11.2003  
UP: 26.04.2006

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Text



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 102 20 337 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 02 D 41/18**  
F 01 N 9/00

②1 Aktenzeichen: 102 20 337.7  
②2 Anmeldetag: 7. 5. 2002  
④3 Offenlegungstag: 27. 11. 2003

DE 102 20 337 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Poehmerer, Wolf-Dieter, 93051 Regensburg, DE;  
Rösel, Gerd, Dr., 93055 Regensburg, DE

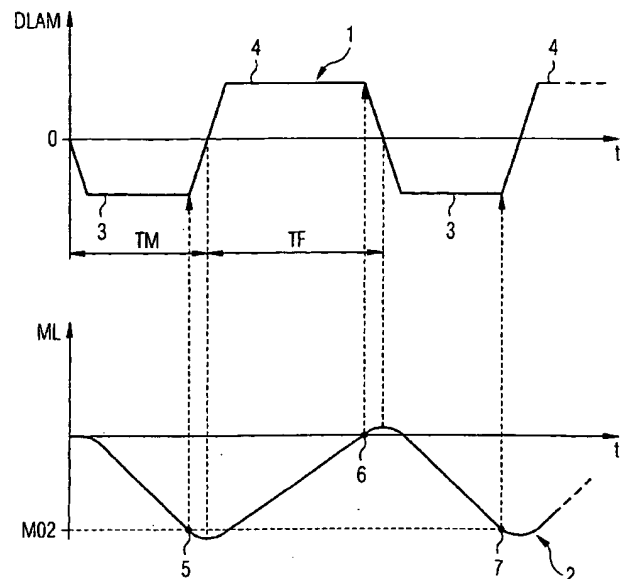
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 199 53 601 A1  
DE 198 01 815 A1  
DE 195 11 548 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Betreiben einer mit einem Dreiwegekatalysator ausgerüsteten Brennkraftmaschine

⑤7 Bei einem Verfahren zum Betreiben einer mit einem Dreiwegekatalysator ausgerüsteten Brennkraftmaschine, bei dem ein Lambdawert des Luft-Kraftstoff-Gemisches, mit dem die Brennkraftmaschine versorgt wird, in einer Zwangsanregung zyklisch abwechselnd unter und über einen Sollwert gestellt wird, wodurch der Lambdawert in Fett-Phasen unter dem Sollwert und in Mager-Phasen über dem Sollwert liegt, wobei in der Zwangsanregung die Fett-Phasen und die Mager-Phasen nach einem bestimmten Kriterium aufeinander abgeglichen werden, ist vorgesehen, dass der Betrag, um den der Lambdawert in Fett-Phasen unter den Sollwert gestellt wird, gleich dem Betrag gewählt wird, um den der Lambdawert in Mager-Phasen über den Sollwert gestellt wird, und bei der Ermittlung des Kriteriums eine Luftmasse verwendet wird, die der Brennkraftmaschine in den Fett- und Mager-Phasen zugeführt wird.



DE 102 20 337 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben einer mit einem Dreiwegekatalysator ausgerüsteten Brennkraftmaschine, bei dem ein Lambdawert des Luft-Kraftstoff-Gemisches, mit dem die Brennkraftmaschine versorgt wird, in einer Zwangsanzugung zyklisch abwechselnd unter und über einen stöchiometrischen Sollwert gestellt wird, wodurch der Lambdawert in Fett-Phasen unter dem stöchiometrischen Sollwert und in Mager-Phasen über dem stöchiometrischen Sollwert liegt, wobei in der Zwangsanzugung die Fett-Phasen und die Mager-Phasen nach einem bestimmten Kriterium aufeinander abgeglichen werden.

[0002] Bei Brennkraftmaschinen können emittierte Abgase im Abgastrakt nachbehandelt werden, indem ein Dreiwegekatalysator eingesetzt wird, der Schadstoffe des Abgases zu unschädlichen Verbindungen oxidiert bzw. reduziert. Es ist dabei bekannt, solche mit einem Dreiwegekatalysator ausgerüsteten Brennkraftmaschinen zum Erreichen eines guten Wirkungsgrades der Abgasnachbehandlung mit im Mittel stöchiometrischem Luft-Kraftstoff-Gemisch zu versorgen; in einer solchen Lambdaabregelung wird der Sauerstoffgehalt des Abgases mittels sogenannter Lambdasonden gemessen und das Luft-Kraftstoff-Gemisch auf einen Mittelwert nahe  $\lambda = 1$  geregelt, da Dreiwegekatalysatoren nur in einem engen Bereich um  $\lambda = 1$  wunschgemäß arbeiten. Dieser Bereich wird auch als Katalysator-Fenster bezeichnet.

[0003] Zur Steigerung des Wirkungsgrades eines Dreiwegekatalysators wird bei einer sogenannten linearen Lambdaabregelung das Luft-Kraftstoff-Gemisch so gestaltet, dass in der für die Lambdaabregelung als Vorsteuerung wirkenden Zwangsanzugung um den stöchiometrischen Sollwert herum zyklisch Vorgabewerte abwechselnd mit über- und unterstöchiometrischem Gemisch eingestellt werden. Durch die Zwangsanzugung liegt der Vorgabewert für den Lambdawert in den Fett-Phasen unter dem stöchiometrischen Sollwert und in den Mager-Phasen darüber.

[0004] Indem in den Dreiwegekatalysator abwechselnd Sauerstoff ein- und ausgelagert wird, bestehen für Oxidations- und Reduktionsphasen günstige Sauerstoffverhältnisse.

[0005] Da die reduzierende bzw. oxidierende Wirkung eines Dreiwegekatalysators bei unter- bzw. überstöchiometrischem Gemisch stark abnimmt, muss jedoch darauf geachtet werden, dass in der Zwangsanzugung im zeitlichen Mittel immer Luft-Kraftstoff-Gemisch im Katalysator-Fenster verwendet wird.

[0006] Deshalb wird im Stand der Technik in den Mager- und den Fett-Phasen der Zwangsanzugung jeweils ein um denselben Betrag vom stöchiometrischen Sollwert abweichender Vorgabewert eingestellt, und die Phasen dauern gleich lang. Eventuell durch Störung bedingte Lambdaabweichungen vom Vorgabewert gleicht ein Lambdaabregler aus.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass durch die Zwangsanzugung ein verbesserter Wirkungsgrad eines Dreiwegekatalysators erreicht wird.

[0008] Die Erfindung wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, dass bei der Ermittlung des Kriteriums eine Luftmasse verwendet wird, die der Brennkraftmaschine in den Fett- und Mager-Phasen als Verbrennungsluft zugeführt wird.

[0009] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es für den Wirkungsgrad eines Dreiwegekatalysators wesentlich ist, die in einer Mager-Phase eingespeicherte Sauerstoffmenge während der Fett-Phase wieder vollständig zu entnehmen. Da die Sauerstoffmenge, mit der ein Dreiwegekatalysator in einer Mager-Phase befüllt und die in der darauffolgenden Fett-Phase entleert wird, von der Luftmenge abhängt, die der Brennkraftmaschine als Verbrennungsluft zugeführt wird, ist der erfindungsgemäße Ansatz unmittelbar von den tatsächlichen, den Füll- und Entleervorgang beeinflussenden Parametern abhängig. Darüber hinaus haben Einflüsse, die ein sich während Füll- und Entleervorgang ändernder Luftmassenstrom hat, keine störende Auswirkung mehr, da sie bei der Ermittlung des Kriteriums Berücksichtigung finden. Die Erfindung ersetzt also die bisher zeitbasierte Zwangsanzugung bei der linearen Lambdaabregelung durch eine luftmassenstrombasierte und erreicht dadurch einen nochmals gesteigerten Wirkungsgrad des Dreiwegekatalysators, da das Katalysator-Fenster stabiler eingestellt wird.

[0010] Die Erfindung hat den weiteren Vorteil, dass in Fett- und Mager-Phasen die Abweichungen vom stöchiometrischen Sollwert frei gewählt und insbesondere verschieden sein können.

[0011] Ändert sich die Last oder Drehzahl einer Brennkraftmaschine, so ändert sich damit auch die innerhalb einer Zeiteinheit zugeführte Luftmasse und somit auch die innerhalb einer Zeiteinheit in einem Dreiwegekatalysator eingespeicherte bzw. davon entleerte Sauerstoffmenge. Während eine rein zeitbasierte Zwangsanzugung dadurch verursachte Fehler über eine zusätzlich zur Lambdaabregelung vorzusehende Führungsregelung korrigieren muss, ist bei der luftmassenstrombasierten Zwangsanzugung automatisch für einen entsprechenden Ausgleich gesorgt, da eine entsprechende Verkürzung oder Verlängerung der Mager- bzw. Fett-Phasen erfolgt. Das erfindungsgemäße Verfahren macht damit die Lambdaabregelung genauer, da ein Fehler nicht erst nachträglich ausgeregelt sondern von vornherein vermieden wird.

[0012] Wesentlich für die luftmassenstrombasierte Zwangsanzugung ist, dass in Mager- und Fett-Phasen jeweils die gleiche Sauerstoffmenge in den Katalysator eingelagert bzw. diesem entnommen wird. Prinzipiell kann dazu eine Sollmenge vorgegeben werden. Alternativ kann diese Sollmenge dynamisch verwaltet werden, d. h. eine Fett- oder Mager-Phase wird dann beendet, wenn nach dem Kriterium Abgleich mit der direkt vorherigen Mager- und Fett-Phase erreicht ist.

[0013] Bei der luftmassenstrombasierten Zwangsanzugung wird die Luftmasse als Maß für die beim Füll- bzw. Entleervorgang eines Dreiwegekatalysators relevante Sauerstoffmasse verwendet. In einer bevorzugten Weiterbildung kann eine direkte Maßgröße für die Sauerstoffmasse, die in Mager- und Fett-Phasen im Abgas von der Brennkraftmaschine abgegeben wird, als Kriterium eingesetzt werden. Hierzu kann die Sauerstoffbelastung während der Mager-Phase durch Summation oder Integration des Luftmassenstromes wie folgt berechnet werden:

$$MO_2 = 0,23 \cdot \int_{t=0}^{t=T_M} \left(1 - \frac{1}{L_{AM}}\right) \cdot \dot{M}_L dt.$$

[0014] Diese Formel gibt die Sauerstoffmasse  $MO_2$  als Funktion des absoluten Lambdawertes  $L_{AM}$ , des Stromes der

Luftmasse  $ML$  und der Zeit  $TM$  an, die eine Mager-Phase dauert. Verwendet man statt des absoluten Lambdawertes  $LAM$  die Abweichung  $DLAM$  von einem für das Katalysator-Fenster angenommenen Sollwert 1, ergibt sich folgende Formel:

$$MO2 = 0,23 \cdot \int_{t=0}^{t=TM} \left(1 - \frac{1}{1 + DLAM}\right) \cdot \dot{ML} dt.$$

[0015] Die Abweichung ist also die Differenz zwischen dem Vorgabewert der Zwangsanzugung und dem stöchiometrischen Sollwert, der im Mittel einzuhalten ist. Obiger Zusammenhang gilt auch für die Fett-Phase, in der Sauerstoff entleert wird, allerdings ist  $DLAM$  dann negativ.

[0016] Wie man sieht, vermeidet das erfindungsgemäße Konzept einen weiteren Fehler, der dem rein zeitbasierten Ansatz inhärent zugrunde liegt: er geht davon aus, die in Mager-Betriebsphasen eingelagerte Sauerstoffmasse sei gleich der in Fett-Phasen aus dem Katalysator entleerten. Dem ist jedoch nicht so, da auch bei betragsgleicher Abweichung  $DLAM$  der in der Klammer des Integrals stehende Bruch für Mager-Betriebsphasen kleiner ist als für Fett-Betriebsphasen.

[0017] Diese Annahme liegt dem erfindungsgemäßen Zwangsanzugsverfahren nicht zugrunde, das stattdessen eine Bilanzierung der Fett- und Mager-Phasen – und zwar unabhängig von der Wahl für  $DLAM$  und vom Luftmassenstrom – vornimmt. Als Maß für die Sauerstoffmasse kann z. B. die Luftmasse, die integrierte Luftmasse, die mittlere Luftmasse oder auch die gemäß obiger Formel errechnete Sauerstoffmasse sein. Hier ist ein Abgleich zwischen Genauigkeitsanforderung und Rechenaufwand möglich.

[0018] Eine besonders genaue Steuerung der Zwangsanzugung bei gleichzeitig relativ geringem Rechenaufwand kann erreicht werden, wenn als Kriterium ein Integral über die während der Fett- bzw. Mager-Phase zugeführte Luftmasse verwendet wird. Zusätzlich kann der Betrag, um den der Vorgabewert in Fett-Phasen unter dem stöchiometrischen Sollwert liegt, gleich dem Betrag gewählt werden, um den Vorgabewert in Mager-Phasen über dem stöchiometrischen Sollwert gestellt wird. Dies muss aber nicht so sein. Das Integral kann immer einfach ausgeführt werden, und berücksichtigt unterschiedliche Werte in Fett- und Mager-Phasen automatisch.

[0019] Bei der Anpassung eines Steuergerätes an einen Brennkraftmaschinentyp werden üblicherweise verschiedenste Parameter eingestellt, d. h. appliziert. Bei der luftmassenstrombasierten Zwangsanzugung kann dabei die Sauerstoffmasse eingestellt werden. Um jedoch eine größtmögliche Parallelität zu bisherigen Zwangsanzugungssystemen erreichen zu können, ist es vorteilhaft, wie bisher eine Zeitdauer zu applizieren. Für diese Anwendung ist eine Weiterbildung der Erfindung zu bevorzugen, bei der in jedem Zyklus die Fett- bzw. die Mager-Phase eine bestimmte Zeit lang durchgeführt und dabei die Luftmasse ermittelt wird und während der anschließenden Mager- bzw. Fett-Phase die Luftmasse aufintegriert und die Phase beendet wird, wenn die Luftmassen gleich sind.

[0020] Die in Anlehnung an bisherige Zwangsanzugungskonzepte vorgesehene Zeitdauer gibt also nicht mehr die Dauer sowohl der Mager- als auch der Fett-Phase vor, sondern definiert lediglich (indirekt) die Sauerstoffmasse, die in der Mager- bzw. Fett-Phase relevant ist. Die unmittelbar anschließende Fett- bzw. Mager-Phase wird dann auf die in der vorgegebenen Zeitdauer eingelagerte bzw. entnommene Sauerstoffmasse gesteuert.

[0021] Es wird also eine erste Phase definiert (dabei kann es sich um eine Mager- oder eine Fett-Phase handeln), die für eine vorgegebene Zeitdauer durchgeführt wird und die über die darin relevante Sauerstoffmenge oder Luftmasse das Kriterium für die Gestaltung der anschließenden zweiten Phase (analog Fett- bzw. Mager-Phase) wertmäßig festlegt.

[0022] Die Parallelität zu den in herkömmlichen Zwangsanzugungskonzepten verwendeten Größen kann noch weiter gesteigert werden, wenn zum Beginn einer ersten Phase (beispielsweise eine Fett-Phase) der aktuelle Luftmassenstrom, aus dem die Brennkraftmaschine ihre Verbrennungsluft bezieht, ermittelt und eine Zeitdauer bestimmt wird, die die erste Phase bei diesem Luftmassenstrom dauern muss, um eine vorbestimmte Sauerstoffmasse zu erreichen. In der Zwangsanzugung wird dann die erste Phase genau für diese Dauer durchgeführt, und zwar unabhängig davon, wie sich der Luftmassenstrom ändert. Allerdings wird die Luftmasse bzw. die Sauerstoffmasse während der ersten Phase erfasst. Die zweite Phase wird so gestaltet, dass sich die gleiche Luftmasse bzw. Sauerstoffmasse ergibt.

[0023] Diese Ausgestaltung des Verfahrens sieht als Zielgröße eine Luftmasse bzw. Sauerstoffmasse vor, die aber in Form einer Zeit für den Vorgabewert der ersten Phase zur Verfügung steht, wodurch hinsichtlich der Applikation von Parametern die größtmögliche Parallelität zu bisherigen Zwangsanzugungskonzepten besteht.

[0024] Der erfindungsgemäße Ansatz, wie er auch in dieser Weiterbildung zum Ausdruck kommt, ermöglicht es, die entleerte bzw. in den Dreiwegekatalysator eingespeicherte Sauerstoffmenge genau aufeinander abzugleichen, d. h. es gilt folgende Gleichung:

$$\int_{t=0}^{t=TM} \left(1 - \frac{1}{1 + DLAM}\right) \dot{ML} dt = \int_{t=0}^{t=TF} \left(1 - \frac{1}{1 + DLAM}\right) \dot{ML} dt.$$

[0025] Der erfindungsgemäße Ansatz der luftmassenstrombasierten Zwangsanzugung ermöglicht es, Gleichheit durch jeweilige Gestaltung der Mager-Phasendauer  $TM$  sowie der Fett-Phasendauer  $TF$  zu erreichen. Dann wird, wie bereits erwähnt, auch der Tatsache Rechnung getragen, dass in Mager-Phasen die Differenz  $DLAM$  zwischen Vorgabewert und stöchiometrischem Mittelwert positiv, in Fett-Phasen dagegen negativ ist, wodurch der Klammerausdruck in Mager-Phasen kleiner als in Fett-Phasen ist. Darüber hinaus kann nun der Vorgabewert in Mager- bzw. in Fett-Phasen frei gewählt werden, insbesondere muss  $DLAM$  nicht mehr für die beiden Phasen betragsmäßig gleich sein.

[0026] Das erfindungsgemäße Konzept kann mit besonderem Nutzen bei Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen mit zwei unabhängig mit Luft-Kraftstoff-Gemisch versorgbaren Zylindergruppen eingesetzt werden. Um dabei zu verhindern, dass ein Auseinanderdriften der unabhängig lambdageregelten Zylindergruppen erfolgt, ist es zweckmäßig beim erfindungsgemäßen Konzept eine Zwangssynchronisation zwischen den beiden Gruppen vorzunehmen, weshalb in einer be-

vorzugten Weiterbildung der Erfindung dafür gesorgt wird, dass beim Beenden jeder zweiten Phase (Mager- oder Fett-Phase) einer Zylindergruppe automatisch auch die entsprechende Phase der anderen Zylindergruppe beendet wird bzw. dass ein vorbestimmter Phasenversatz eingehalten wird.

- [0027] Es ist deshalb bei einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine mit zwei unabhängig mit Luft-Kraftstoff-Gemisch versorgbaren Zylindergruppen ein Verfahren bevorzugt, das bei einer Zylindergruppe ein Kriterium ermittelt und als Vorgabe verwendet. Eine Zylindergruppe wird also hinsichtlich der Zwangsanregung als Master-Gruppe betrieben, die andere folgt als sogenannte Slave-Gruppe. Die Vorgabe durch die Master-Gruppe kann dabei, wie zuvor bereits erwähnt, auf vielfältige Art und Weise erfolgen. Wesentlich ist dabei, dass zu bestimmten Zeitpunkten ein Zwangssynchronisation erfolgt. Dazu ist es möglich, einen Luftmassensollwert, einen Sollwert für die mittlere Luftmasse, einen Sollwert für die Sauerstoffmasse usw. vorzugeben.

- [0028] In einer regelungstechnisch besonders einfach auszuführenden Weiterbildung, bei der die Anwendung für eine Mehrzylinder-Brennkraftmaschine mit der durch eine Zeitdauer applizierbaren Weiterbildung verknüpft wird, ist es vorgesehen, dass in der Fett- bzw. Mager-Phase einer Zylindergruppe das Kriterium ermittelt und als Vorgabe verwendet wird. Eine Fett-Phase einer Zylindergruppe wird dabei zeitgesteuert durchgeführt und zugleich die zugeführte Luft- und Sauerstoffmasse erfasst. Die Fett-Phase der anderen Zylindergruppe wird dann nach diesem Luftmassen- bzw. Sauerstoffmassenwert gestaltet. Ebenso die Mager-Phasen beider Zylindergruppen; hierbei ist dafür zu sorgen, dass die Abweichung vom stöchiometrischen Sollwert in Fett-Phasen nicht kleiner ist, als in Mager-Phasen.

[0029] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielshalber noch näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

- [0030] Fig. 1 Zeitreihen der Lambdaänderung und der Luftmasse bei einer luftmassenbasierten Zwangsanregung,

[0031] Fig. 2 ein Ablaufdiagramm zur Durchführung einer luftmassenbasierten Zwangsanregung,

[0032] Fig. 3 eine weitere Ausführungsform eines Verfahrens zur luftmassenbasierten Zwangsanregung, bei dem eine Zeitgröße zur Applikation auf einen Brennkraftmaschinentyp eingestellt werden kann, und

- [0033] Fig. 4 Zeitreihen der Lambdaänderung und der Luftmasse bei einer luftmassenbasierten Zwangsanregung für eine Brennkraftmaschine mit zwei unabhängig mit Luft-Kraftstoff-Gemisch versorgbaren Zylindergruppen.

[0034] Bei einer Brennkraftmaschine, bei der im Abgastakt ein Dreizeigekatalysator angeordnet ist und die unter einer linearen Lambdaeinstellung läuft, wird in einer Zwangsanregung ein Vorgabewert um einen stöchiometrischen Lambda-Sollwert herum als Vorsteuerung für die Lambdaeinstellung eingestellt. Dabei wird abwechselnd eine Mager- und Fettverschiebung des Gemisches vorgegeben.

- [0035] In der Magerverschiebung wird der Dreizeigekatalysator, der Sauerstoffspeicher-Eigenschaften hat, mit Sauerstoff befüllt, während er in der Fettverschiebung wieder geleert wird. Dieser Füll- und Entleervorgang ist abhängig von der Differenz zwischen Vorgabewert und stöchiometrischem Sollwert in den Phasen, d. h. von der Amplitude der Zwangsanregung sowie von der Dauer der Verschiebung.

- [0036] Die Sauerstoffmenge, mit der der Dreizeigekatalysator befüllt und entleert wird, hängt von der Luftmenge, die der Brennkraftmaschine bei der Verbrennung zugeführt wird, ab. Die während einer Mager-Phase zugeführte Sauerstoffmasse ergibt sich dabei nach folgender Gleichung:

$$MO2 = 0,23 \cdot \int_{t=0}^{t=TM} \left(1 - \frac{1}{1 + DLAM}\right) \cdot \dot{ML} dt,$$

wobei ML die Luftmasse und DLAM die Lambdaänderung, d. h. die Amplitude der Zwangsanregung wiedergibt. Diese Gleichung wird auch als Sauerstoffmassenintegral bezeichnet.

- [0037] Um nun sicherzustellen, dass die befüllte bzw. entleerte Sauerstoffmenge in Mager- und Fett-Phasen der Zwangsanregung gleich sind, wird jeweils das Integral berechnet. Die Mager-Phase wird dabei so durchgeführt, dass sich ein bestimmter Sauerstoffmassenwert MO2 einstellt. Die direkt anschließende Fett-Phase wird ebenfalls so gestaltet, dass genau dieser Sauerstoffmassenwert MO2 erhalten wird.

- [0038] In Fig. 1 ist ein Lambdaverlauf 1 als Zeitreihe dargestellt, wobei die Lambdaänderung DLAM über der Zeit t aufgetragen ist. Die Lambdaänderung DLAM wird dabei im Betrieb der Brennkraftmaschine möglichst einer Rechteckfunktion angenähert, so dass in den Halbzyklen 3 und 4 jeweils eine konstante Lambdaänderung DLAM gegeben ist. Die Übergänge zwischen den Halbzyklen 3 und 4 entsprechen dabei einer linearen Änderung, deren Steigung so gewählt ist, dass dabei keine Komforteinbußen beim Betrieb einer Brennkraftmaschine auftreten.

- [0039] Der Lambdawert DLAM in jedem Halbzyklus 3 und 4 wird für die Berechnung der Sauerstoffmasse mittels des oben angegebenen Integrals verwendet. Die Mager-Phasendauer TM ist dabei diejenige Zeit, die zwischen zwei Nulldurchgängen des Lambdaverlaufes 1 vorliegt. Dadurch erhält man einen in Fig. 1 eingezeichneten Sauerstoffmassenintegralverlauf 2, in dem die Luftmasse ML über der Zeit t aufgetragen ist. Wie zu sehen ist, verläuft der Sauerstoffmassenintegralverlauf 2 ebenfalls zyklisch und ist synchron zum Lambdaverlauf 1. Zum Ende der Mager-Phasendauer TM hat der Sauerstoffmassenintegralverlauf 2 ein lokales Minimum.

- [0040] Das Ende einer Mager-Phase und damit das Ende eines Halbzyklusses 3 wird anhand des Sauerstoffmassenintegralverlaufes 2 ermittelt. Sinkt der Wert des Sauerstoffmassenintegrals unter einen Wert MO2, so wird ein Schalterpunkt 5 festgestellt, zu dem die Mager-Phase beendet wird, d. h. die bis dahin konstante Lambdaänderung DLAM wird mit der eingangs erwähnten Steigung auf Null und dann auf den entgegengesetzten Wert für die Mager-Phase verändert. Zum Null-Durchgang ist dann die Mager-Phasendauer TM beendet, und es schließt sich die Fett-Phasendauer TF an. Ab diesem Null-Durchgang nimmt der Wert des Sauerstoffmassenintegrals wieder zu. Erreicht er Null, ist ein weiterer Schalterpunkt 6 erreicht, zu dem das Ende der Fett-Phasendauer eingeleitet, und die Lambdaänderung DLAM, wieder mit der erwähnten Steigung, auf den Wert für die nächste Mager-Phase gestellt wird.

[0041] Wie der Lambdaverlauf 1 der Fig. 1 deutlich zeigt, ergeben sich durch dieses Konzept, den Vorgabewert in der Zwangsanregung zu wählen, unterschiedliche Dauern für Mager- und Fett-Phasen. Sie werden jeweils so lang gestaltet,

dass exakt der gleiche Wert  $MO_2$  erhalten wird, so dass eine durchgehende Versorgung mit im Mittel stöchiometrischem Gemisch sichergestellt ist.

**[0042]** Dieses Verfahren zur Zwangsanzugung ist in Fig. 2 schematisch dargestellt, wobei davon ausgegangen ist, dass mit einer Fett-Phase begonnen wird. Zuerst wird in einem Schritt S1 die Brennkraftmaschine mit angefettetem Gemisch betrieben, d. h. der Lambdawert  $LAM$  wird erniedrigt; dies ist in Schritt S1 schematisch durch ein Minus-Zeichen veranschaulicht. Dann wird in einem Schritt S2 das Sauerstoffmassenintegral berechnet. Dabei kann es sich um oben ange-

gebenes Integral handeln. Kann der Lambdawert jedoch konstant gehalten werden, ist dessen Berücksichtigung nicht erforderlich, und es genügt eine Integral- oder Summenbildung über den Luftmassenstrom alleine.

**[0043]** Anschließend wird in einem Schritt S3 überprüft, ob die erreichte Summe oberhalb eines Wertes  $MO_2$  liegt. Ist dies nicht der Fall ("N"-Verzweigung), wird vor Schritt S2 zurückgesprungen, d. h. die Fett-Phase wird fortgesetzt.

**[0044]** Ist der Wert  $MO_2$  dagegen erreicht ("J"-Verzweigung), wird in einem Schritt S4 nun der Vorgabewert angehoben, was eine Abmagerung des Gemisches bewirkt, d. h. es wird ein magerer Lambdawert  $LAM$  vorgegeben. In Schritt S4 ist dies durch ein Plus-Zeichen veranschaulicht.

**[0045]** Während der sich dadurch ergebenden Mager-Phase wird wiederum das Sauerstoffmassenintegral ermittelt oder die Luftmasse aufsummiert bzw. -integriert. Dies erfolgt in einem Schritt S5. Anschließend wird in Schritt S6 abgefragt, ob diese Summation wiederum den Wert  $MO_2$  erreichte. Ist dies nicht der Fall ("N"-Verzweigung), wird die Mager-Phase fortgesetzt, d. h. Schritt S5 kommt erneut zur Ausführung. Ist dagegen der Sauerstoffmassenwert  $MO_2$  erreicht ("J"-Verzweigung), so wird vor Schritt S1 zurückgesprungen, d. h. es schließt sich wieder eine Fett-Phase an.

**[0046]** Das in Fig. 2 schematisch dargestellte Konzept gleicht also Mager-Phasen und Fett-Phasen jeweils auf einen gleichen Wert  $MO_2$  ab. Dieser Wert wird abhängig von den Eigenschaften des Dreizeigekatalysators zu wählen sein und kann insbesondere auch für Diagnosezwecke kurzzeitig abweichend vom normalen Betrieb vergrößert oder verkleinert werden, beispielsweise um das Verhalten des Dreizeigekatalysators zu überprüfen.

**[0047]** In Fig. 3 ist eine alternative Ausgestaltung des Verfahrens schematisch dargestellt. Dabei wird in einem Schritt S7 zuerst eine Zyklusperiode  $T$  initialisiert, d. h. auf Null gesetzt. Anschließend erfolgt in einem Schritt S8 eine Fett-Phase durch Reduzierung des Lambdawertes  $LAM$ . Im Schritt S9 schließt sich daran analog zu Schritt S2 Sauerstoffmassenintegralberechnung bzw. die Summation bzw. Integration der Luftmasse an.

**[0048]** Als nächstes wird in einem Schritt S10 die Zykluszeit  $T$  heraufgesetzt, d. h. um ein Zeitinkrement vergrößert. Eine Abfrage in einem Schritt S11 überprüft, ob die aktuelle Zyklusdauer  $t$  über einem Schwellwert  $SW$  liegt. Ist dies nicht der Fall ("N"-Verzweigung), wird die Fett-Phase fortgesetzt, d. h. es wird mit Schritt S9 fortgefahren. Hat die Zyklusdauer dagegen einen vorbestimmten Schwellenwert  $SW_2$  überschritten ("J"-Verzweigung), wird in einem Schritt S12 der Wert der Summe bzw. des Integral über die Luftmasse als Sauerstoffmassenwert  $MO_2$  gespeichert. Er dient dann zur Steuerung der anschließenden Mager-Phase. Es werden dabei die Schritte S13, S14 und S15 durchgeführt, die den Schritten S4 bis S6 entsprechen.

**[0049]** Das luftmassenbasierte Kriterium zum Abgleich der Fett- und Mager-Phasen in der Zwangsanzugung kann auch für Brennkraftmaschinen verwendet werden, die mehrere, z. B. zwei Zylindergruppen aufweisen, deren Luft-Kraftstoff-Gemisch unabhängig voneinander eingestellt werden kann. Dies ist üblicherweise bei Brennkraftmaschinen mit mehreren Zylinderbänken der Fall, beispielsweise bei V6- oder V8-Bauweisen.

**[0050]** Fig. 4 zeigt Lambdaverläufe 1a und 1b sowie Sauerstoffmassenintegralverläufe 2a und 2b für eine Zwangsanzugung bei solchen Systemen.

**[0051]** Dabei ist es vorgesehen, zu gewissen Zeiten Zwangssynchronisationen zwischen den beiden Zylindergruppen vorzunehmen, damit kein Auseinanderdriften der beiden Gruppen hinsichtlich der Zwangsanzugung erfolgt. Ein solches Auseinanderdriften würde durch numerische Ungenauigkeiten unterstützt. In den in Fig. 4 dargestellten Lambdaverläufen 1a und 1b ist eine Zwangssynchronisation zum Ende der Mager-Phase einer Zylinderbank vorgesehen.

**[0052]** Bei der Zwangsanzugung wird eine Zylinderbank als sogenannter Master betrieben, d. h. sie liefert die Vorgabewerte hinsichtlich des luftmassenbasierten Abgleichkriteriums für die andere Bank, die als Slave läuft. Der Lambdaverlauf der als Master betriebenen Bank ist in Fig. 4 mit Bezugszeichen 1a versehen und ebenso wie der zugehörige Sauerstoffmassenintegralverlauf 2a mit einer größeren Strichstärke eingezeichnet.

**[0053]** Die Halbzyklen 3a und 4a der Mager- bzw. Fett-Phasen der als Master betriebenen Zylinderbank entsprechen denen der Fig. 1, so dass auf die diesbezügliche Beschreibungen verwiesen werden kann.

**[0054]** Ist ein Schaltpunkt 5a erreicht, wird das Ende des Halbzyklus 3a eingeleitet, und es schließt sich ein Halbzyklus 4a an, dessen Ende beim Schaltpunkt 6 initiiert wird. Die Halbzyklen 3b und 4b der als Slave betriebenen Zylindergruppe orientieren sich an den Sauerstoffmassenwerten  $MO_2$ , die zu den Schaltpunkten 5a bzw. 6 vorgabemäßig erreicht waren. Wie der Sauerstoffmassenintegralverlauf 2b für die Slave-Zylinderbank zeigt, die gegentaktig zur Master-Zylindergruppe in der Zwangsanzugung betrieben wird, wird der Schaltpunkt 5b zeitlich nach dem Schaltpunkt erreicht, d. h. der Halbzyklus 3b dauert länger als der Halbzyklus 3a. Dies hat seine Ursache in dem vom Vorzeichen  $DLAM$  abhängigen Wert des Klammerausdruckes im oben angegebenen Sauerstoffmassenintegral bei betragsgleichen Verschiebungen  $DLAM$  in Fett- und Mager-Phasen.

**[0055]** Aus diesem Grund ist auch der Halbzyklus 4a länger als der Halbzyklus 4b. Im Sauerstoffmassenintegralverlauf 2b fällt auf, dass während des Halbzyklus 4b keine Integration stattfindet. Dies liegt daran, dass mit Erreichen des Schaltpunktes 6, der durch den Sauerstoffmassenintegralverlauf 2a für die Master-Zylindergruppe definiert ist, eine Zwangssynchronisation der Halbzyklen 4a und 3b stattfindet, damit sichergestellt ist, dass insgesamt die Gegentaktigkeit bzw. der vorgegebene Phasenversatz zwischen Zwangsanzugung der Master-Zylindergruppe und der Slave-Zylindergruppe erhalten bleibt. Für den Fall, dass eine Abschaltung einer Zylindergruppe auftreten kann, sollte die Integration dennoch weitergeführt werden, um die Slave-Bank dann kurzfristig als Master-Bank verwenden zu können.

**[0056]** Der weitere Lambdaverlauf 1a und 1b sowie Sauerstoffmassenintegralverlauf 2a und 2b zeigen deutlich den Einfluss des Sauerstoffmassenintegrals auf die Dauern der Fett- und Mager-Phasen und damit auf die Periode der Zwangsanzugung. Der Sauerstoffmassenintegralverlauf 2a und 2b verläuft dort mit deutlich geringerer Neigung, d. h. die Brennkraftmaschine saugt einen deutlich geringeren Luftmassenstrom an als zuvor. Dementsprechend sind die Halbzy-

klein 4b und 3a entsprechend verlängert.

[0057] Durch den Abgleich mittels des luftmassenbasierten Kriteriums wird nicht nur erreicht, dass Mager- und Fett-Phasen jeweils unter Wirkungsgrad-Gesichtspunkten gleich sind, sondern es kann auch eine optimale Sauerstoffmasse eingestellt werden, die in den Dreiwegekatalysator eingespeichert bzw. aus diesem entnommen wird.

5

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer mit einem Dreiwegekatalysator ausgerüsteten Brennkraftmaschine, bei dem
  - ein Lambdawert des Luft-Kraftstoff-Gemisches, mit dem die Brennkraftmaschine versorgt wird, in einer Zwangsanregung zyklisch abwechselnd unter und über einen stöchiometrischen Sollwert gestellt wird, wodurch der Lambdawert in Fett-Phasen unter dem stöchiometrischen Sollwert und in Mager-Phasen über dem stöchiometrischen Sollwert liegt, wobei
  - in der Zwangsanregung die Fett-Phasen und die Mager-Phasen nach einem bestimmten Kriterium aufeinander abgeglichen werden,
- 15 **dadurch gekennzeichnet**, dass
  - bei der Ermittlung des Kriteriums eine Luftmasse verwendet wird, die der Brennkraftmaschine in den Fett- und Mager-Phasen zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fett- oder die Mager-Phase dann beendet wird, wenn nach dem Kriterium ein Abgleich mit der direkt vorherigen Mager- bzw. Fett-Phase erreicht ist.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Maßgröße für eine Sauerstoffmasse, die die Brennkraftmaschine in Mager- oder Fett-Phasen im Abgas abgibt, als Kriterium verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Betrag, um den der Lambdawert in Fett-Phasen unter den Sollwert gestellt wird, gleich dem Betrag gewählt wird, um den der Lambdawert in Mager-Phasen über den Sollwert gestellt wird, und als Kriterium ein Integral über die während der Fett- bzw. Mager-Phase zugeführte Luftmasse verwendet wird.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass in jedem Zyklus die Fett- bzw. die Mager-Phase eine bestimmte Zeitdauer lang durchgeführt und dabei die Luftmasse ermittelt wird und dass während der anschließenden Mager- bzw. Fett-Phase die Luftmasse aufintegriert und die Phase beendet wird, wenn die Luftmassen gleich sind.
- 30 6. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine mit zwei unabhängig mit Luft-Kraftstoff-Gemisch versorgbaren Zylindergruppen das bei einer Zylindergruppe ermittelte Kriterium als Vorgabe für die andere Zylindergruppe verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in der Fett- bzw. Mager-Phase einer Zylindergruppe das Kriterium als Vorgabe ermittelt wird.

35

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

**FIG 1**

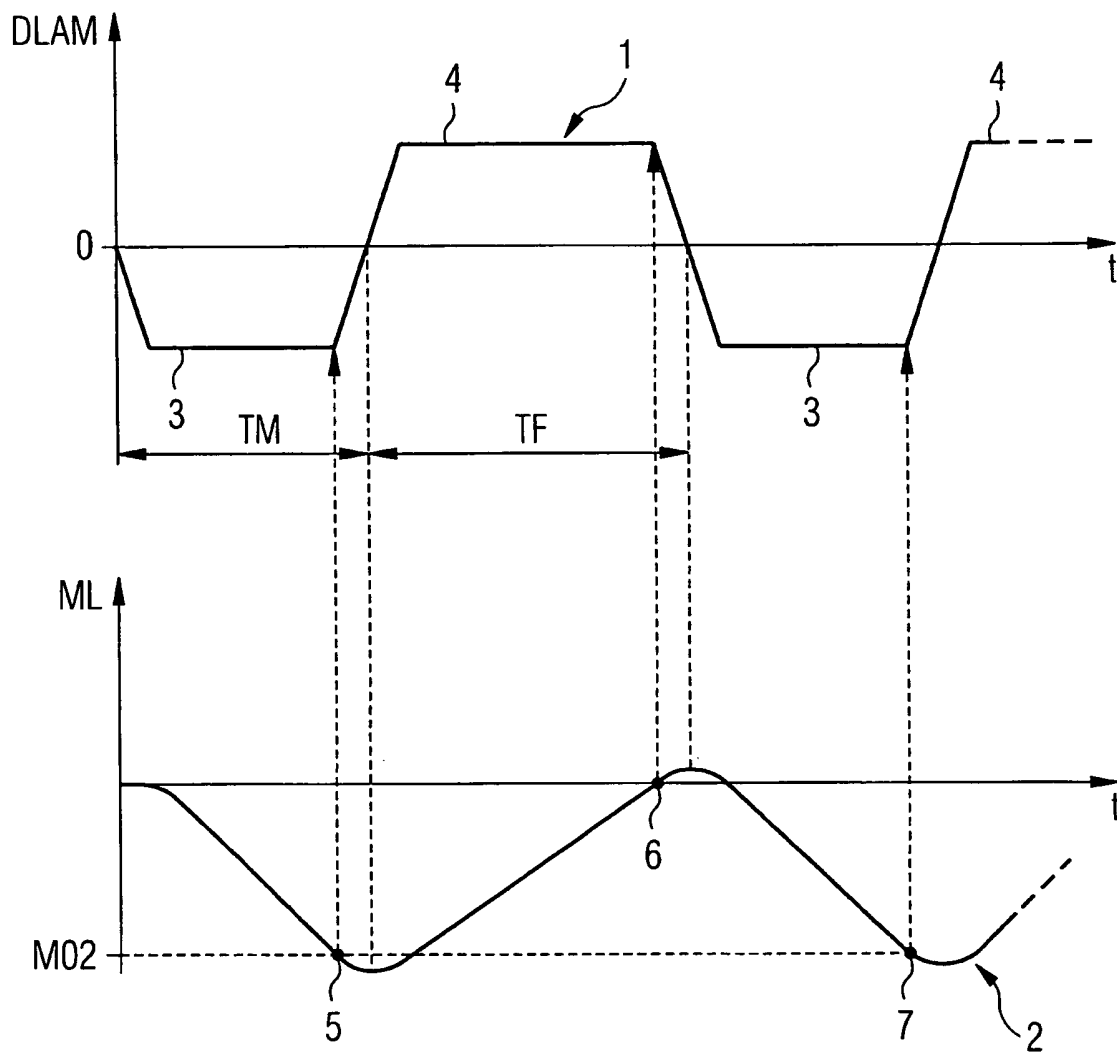


FIG 2

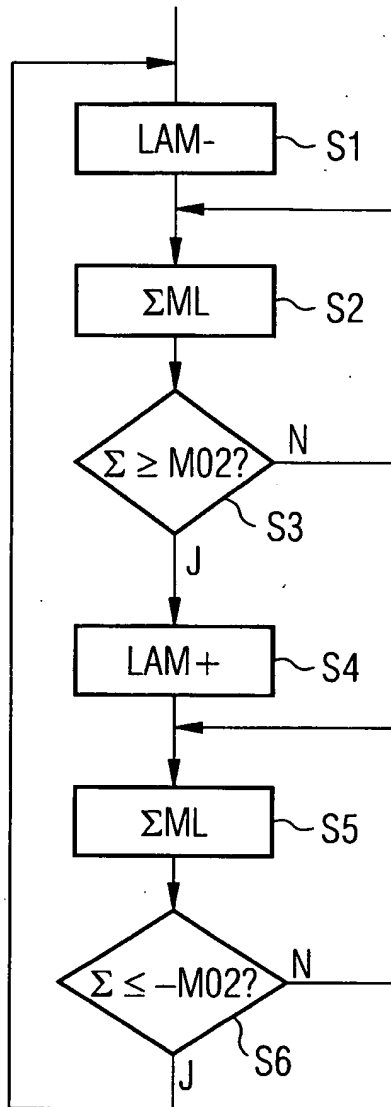


FIG 3

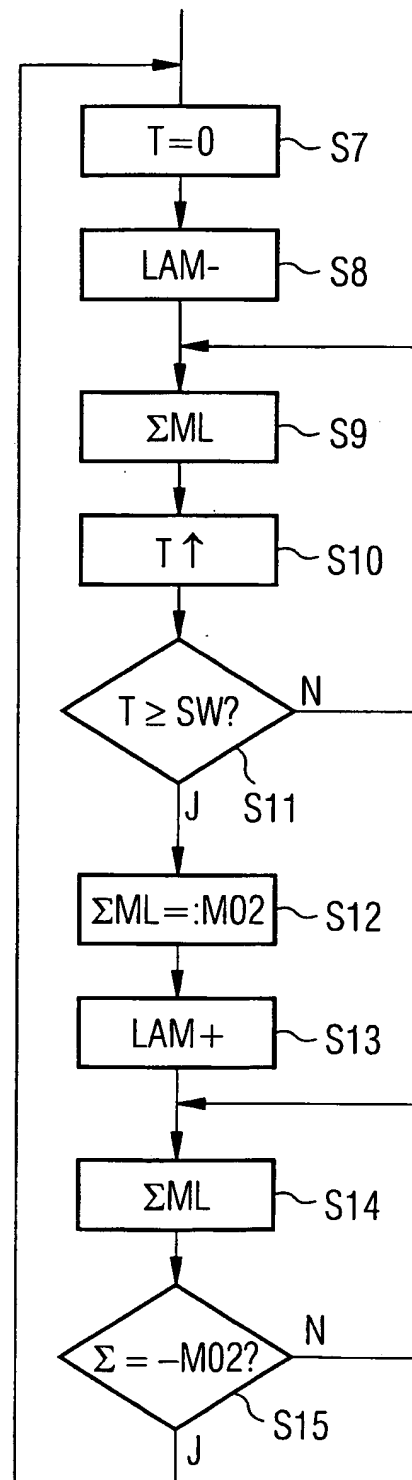


FIG 4

